

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX
FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1927-1928 — N° 87

ÉTUDE CRITIQUE ET ANALYTIQUE
DU
MAL DES MONTAGNES

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le vendredi 22 juin 1928

PAR

Jean-Gabriel-Félix LARRICQ

Né à BEDOUS (Basses-Pyrénées), le 12 avril 1899.

Examineurs de la Thèse	{	MM. PACHON, professeur.....	Président.
		VILLEMIN, professeur	Juges.
		BONNIN, agrégé.....	
		DAMADE, agrégé.....	

BORDEAUX
IMPRIMERIE DE L'ACADÉMIE ET DES FACULTÉS
Y. CADORET
17, RUE POQUELIN-MOLIÈRE, 17

1928



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548412_0112

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1927-1928 — N° 87

ÉTUDE CRITIQUE ET ANALYTIQUE

DU

MAL DES MONTAGNES

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le vendredi 22 juin 1928

PAR

Jean-Gabriel-Félix LARRICQ

Né à BEDOUS (Basses-Pyrénées), le 12 avril 1899.

Examineurs de la Thèse	{	MM. PACHON, professeur.....	<i>Président.</i>
		VILLEMEN, professeur	} <i>Juges.</i>
		BONNIN, agrégé.....	
		DAMADE, agrégé.....	

BORDEAUX

IMPRIMERIE DE L'ACADÉMIE ET DES FACULTÉS

Y. CADORET

17, RUE POQUELIN-MOLIERE, 17

1928

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE BORDEAUX

M. SIGALAS... Doyen

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. LANELONGUE, BADAL, POUSSON, MOURE, PRINCETEAU
W. DUBREUILH, RIVIÈRE

PROFESSEURS

	MM.		MM.
Clinique médicale	VERGER.	Zoologie et parasitologie	MANDOUL.
id.	CASSAET.	Médecine expérimentale	MAURIAC.
Clinique chirurgicale	CHAVANNAZ.	Clinique ophtalmologique	TEULIÈRES.
id.	BÉGOUIN.	Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	ROCHER.
Pathologie et thérapeutique générales	CARLES.	Clinique gynécologique	GUYOT.
Clinique d'accouchements	N.	Clinique médicale des maladies des enfants	CRUCHET.
Anatomie pathologique et microscopie clinique	SABRAZES.	Chimie biologique et médicale	DENIGES.
Anatomie	VILLEMIN.	Physique médicale et pharmacologique	SIGALAS.
Anatomie générale et histologie	G. DUBREUIL.	Médec. coloniale et clinique des maladies exotiques	LE DANTEC.
Physiologie	PACHON.	Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	PETGES.
Hygiène	AUCHÉ.	Clinique des maladies des voies urinaires	DUVERGEY.
Médecine légale et déontologie	LANDE.	Clinique des maladies nerveuses et mentales	ABADIE.
Electroradiologie et clin. d'électricité médicale	RÉCHOU.	Clinique d'oto-rhino-laryngologie	PORTMANN.
Chimie	CHELLE.	Toxicologie et hygiène appliquée	BARTHE.
Botanique et matière médicale	BEILLE.	Hydrologie, thérapeutique et climatologie	SELLIER.
Pharmacie	DUPOUY.		

MM. LABAT (Pharmacie). — DELAUNAY (Physiologie).
MICHELEAU, LEURET, DUPÉRIÉ (Médecine générale)

AGRÉGÉS EN EXERCICE :

	MM.		MM.
Anatomie	DUBECQ.	Maladies mentales	PERRENS.
Histologie	LACOSTE.	Chirurgie générale	PAPIN.
Anatomie pathologique	MURATET.	id.	JEANNENEY.
Parasitologie et sciences naturelles	R. SIGALAS.	id.	CHARMIER.
Histoire naturelle pharmaceutique	FOURMENT.	id.	LOUBAT.
Médecine générale	GREYX.	Obstétrique	PERY.
id.	BONNIN.	id.	FAUGÈRE.
id.	AUBERTIN.	Ophtalmologie	BEAUVIEUX.
id.	DAMADE.	Dermatologie et syphiligraphie	JOULIA.
id.	PIÉCHAUD.	Pharmacie	GOLSE.

COURS COMPLÉMENTAIRES

	MM.		MM.
Clinique dentaire	GAVALIÉ.	Démonstrations et préparations pharmacologiques	LABAT.
Médecine opératoire	PAPIN.	Pharmacie chimique	GOLSE.
Ophtalmologie	CABANNES.	Chimie minérale	GOLSE.
Puériculture	ANDÉRODIAS		

Orthopédie chez l'adulte, pour les accidentés du travail, les mutilés de guerre et les infirmes. MM. N.
Cours complémentaire annexe — Prothèse et rééducation professionnelle. GOURDON.

Par délibération du 5 août 1879, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les Thèses qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle entend ne leur donner ni approbation ni improbation.

A MON PÈRE — A MA MÈRE

A MES FRÈRES

A MA FIANCÉE

A MES AMIS

A MES MAITRES
DE LA FACULTÉ ET DES HOPITAUX

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR V. PACHON

*Professeur de Physiologie à la Faculté de Médecine de Bordeaux,
Correspondant national de l'Académie de Médecine,
Membre de la Société de biologie,
Membre associé de la Société des sciences médicales et naturelles de Bruxelles,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Officier de l'Instruction publique.*

CHER MAÎTRE,

Je suis heureux de pouvoir vous exprimer ici ma reconnaissance pour l'amabilité avec laquelle vous avez bien voulu toujours m'accueillir au nom de l'amitié qui vous lie à mon père. Aussi en vous remerciant du grand honneur que vous m'avez fait en acceptant la présidence de ma thèse, je ne puis m'empêcher de vous dire combien je suis fier de pouvoir mettre votre nom en tête de ce modeste travail.

ÉTUDE CRITIQUE ET ANALYTIQUE

DU

MAL DES MONTAGNES

« ... Les abeilles butinent de-ci de-là les fleurs, puis-elles font le miel qui est tout leur, ce n'est plus thym ni marjolaine. »

Michel MONTAIGNE.

INTRODUCTION

La vallée d'Aspe est, parmi les nombreux sites qui ornent les Pyrénées, l'un des plus coquets et l'un des plus riants. Placée à l'extrémité de cette chaîne de Bigorre et d'Ossau, qui dresse vers le ciel ses cimes abruptes, les pics qui la dominent deviennent moins escarpés; ils n'atteignent plus les altitudes de leurs voisins et la montagne descend harmonieusement vers le Pays Basque. Ses horizons n'ont pas un caractère rude et sauvage. Les ondulations du terrain sont recouvertes de tapis verdoyants que les troupeaux de moutons émaillent de taches blanches et un gave aux eaux limpides en entretient la fraîcheur.

Ce sont ces paysages que mes yeux se sont habitués à contempler dès mon enfance et leur charme m'a de tout temps attiré.

Jeune homme, j'ai voulu connaître l'impression des larges horizons, des levers de soleil sur les sommets couverts de neige, j'ai abordé la haute montagne et escaladé les pics.

J'ai toujours été appelé vers cette grande solitude. Et après avoir connu toutes les joies que l'on peut manifester devant ces spectacles grandioses, ressenti la secrète fierté que l'on a à franchir les passes difficiles; j'ai voulu faire connaître à mes amis les obstacles que l'on peut y trouver et les perspectives que l'on peut y admirer.

Je leur ai fait éprouver cette coquetterie masculine à vaincre quelque chose de difficile, je leur ai donné cette sensation indescriptible que l'on ressent dans les endroits dangereux.

Mais je dois dire aussi que tous ne se sont pas comportés en « montagnards », et souvent, malgré leur jeunesse, leur force virile, leur bonne volonté, certains ont dû arrêter leur effort et attendre le retour de la petite caravane.

Au début, j'ai été étonné de voir ces malaises chez les gens de la plaine. Mon esprit de jeune étudiant en médecine fut souvent intrigué par cet état que j'ai rencontré chez mes camarades d'ascensions et que je ne pouvais pas mettre sur le compte de la peur ou d'une tare physique bien définie.

J'ai cherché à me renseigner, j'ai été poussé à lire quelques ouvrages ayant trait à ce syndrome qui me frappait.

Et avant de finir mes études, j'ai été amené, moi, le montagnard, qui vais continuer à vivre avec amour au pied de mes Pyrénées, à préférer cette étude du mal des montagnes à tout autre sujet de thèse.

Médecin, j'ai voulu en connaître la cause. Aussi, je me permets aujourd'hui d'apporter ma faible contribution en synthétisant les théories qui furent mises debout par des esprits captivés avant moi par l'intérêt, la beauté du sujet et qui apportèrent dans son étude toute leur volonté de chercheurs et toute la clarté de leurs intelligences.

CHAPITRE PREMIER

Le mal des montagnes.

Le mal des montagnes (1) est l'ensemble des troubles profonds que ressent le plus grand nombre des voyageurs qui s'élèvent à de grandes hauteurs au-dessus du niveau de la mer.

Pour en connaître les symptômes, il faut lire les récits des vaillants ascensionnistes qui témoignent d'un grand nombre de troubles ressentis, malaises plus ou moins sérieux, suivant les individus et selon les montagnes gravies, mais qui sont, croyons-nous, indéniables.

La première description des troubles causés par l'altitude est celle du père jésuite Acosta, à la fin du xvi^e siècle :

« En certains endroits des Indes, l'air et le vent qui y court estourdit les hommes, non pas moins, mais davantage qu'en la mer... Il y a, au Pérou, une montagne haute qu'ils appellent Pariacaca et ayant ouï dire et parler du changement qu'elle causoit, j'allois préparé le mieux que ie pouvois selon l'enseignement que donnent par delà ceux qu'ils appellent Vaquianos, mais néanmoins... ie fus subitement atteint et surpris d'un mal si mortel et estrange, que ie fus presque sur le point de me laisser choir de la monture en terre, et encore que nous fussions plusieurs de compagnie, chacun hastoit le pas sans attendre son compagnon. Je fus épris de telles douleurs de sanglots et de vomissements, que ie pensay jetter et rendre l'âme. D'autant qu'après avoir vomy la viande, les phlegmes et la colère, l'une jaune et l'autre verte, ie vins iusque à jetter le sang, de la vio-

(1) Nommé encore : *puna*, *soroche*, *mareo* ou *veta*.

lence que ie sentois en l'estomach. Cela ne dura que trois ou quatre heures, jusques à ce que nous fussions descendus bien bas et nous fussions arrivez en une température plus convenable au naturel, où tous nos compagnons estoient fort fatiguez, quelques-uns demandoient confession pensans réellement mourir, les autres mettoient pied à terre et estoient perdus de vomissements et de force d'aller à la selle, et me fut dict qu'autrefois quelques-uns y'auroient perdu la vie de cest accident. »

C'est avec le plus grand souci de l'exactitude et du pittoresque que cette première description nous montre bien le mal des montagnes et il faut arriver en 1833, pendant l'expédition des trois astronomes français Bouguer, La Condamine et Godin en Amérique du Sud, pour voir les accidents causés par le séjour en montagne être scientifiquement étudiés et décrits. Ce n'est que plus tard, dans les Alpes, avec le chanoine Bourrit, que l'on commence à lire des observations et au fur et à mesure que la hardiesse et l'intrépidité des hommes les conduiront sur les plus hauts sommets du vieux continent, on verra l'étude de ce mal des montagnes s'approfondir.

Tout d'abord, ce qui frappe dans le récit des ascensionnistes, c'est la différence de hauteur à laquelle il apparait dans les diverses régions du globe. Si dans les Pyrénées et les Alpes, les accidents se montrent vers 3.000 mètres à 3.500 mètres, dans le Caucase et les montagnes arméniennes d'une part, on peut impunément s'élever à la même hauteur; dans les immenses montagnes de l'Asie centrale, d'autre part, les passes de 4.500 mètres sont franchies sans souffrances sérieuses.

Bien plus, dans une même chaîne de montagnes, les troubles apparaissent à des hauteurs diverses; ainsi, dans la chaîne de la Cordillère des Andes, tandis que presque tous les étrangers en sont atteints à La Paz (3.720 m.) et même à Chicquisaca (2.845 m.), l'ascension des montagnes voisines de Quito est à peu près inoffensive jusqu'à 5.000 mètres. De plus, à hauteur égale, certains sommets sont moins dangereux que d'autres; on est moins malade sur les cimes isolées et libres de toute part. Enfin, une dénivellation rapide expose davantage au mal des montagnes qu'une ascension lente, progressive, par étapes.

Ce ne sont pas seulement les circonstances extérieures qui déterminent l'apparition plus ou moins prématurée du mal des montagnes. D'autres conditions, inhérentes celles-ci aux voyageurs eux-mêmes, exercent, à ce point de vue, une très grande influence. La meilleure preuve est que dans la même région, sur la même montagne, on voit des voyageurs se plaindre de souffrances sérieuses, tandis que d'autres se réjouissent et s'étonnent de n'avoir presque rien ressenti. Bien plus, la même personne, exécutant la même ascension à deux reprises différentes, ne se comporte pas toujours de même.

Évidemment, ces différences tiennent en partie aux dispositions particulières, aux tempéraments des divers individus. C'est ainsi que les pléthoriques et aussi les personnes âgées ou très faibles sont particulièrement atteintes; c'est ainsi que les Indiens résistent beaucoup plus que les Européens aux effets du mal des montagnes, tandis que les coolies de l'Himalaya sont frappés tout aussi vite.

Mais ces différences sont également dues à des conditions d'ordre transitoire et susceptibles d'être modifiées par le voyageur. Lorsque nous parlerons des causes du mal des montagnes, nous verrons le côté important, quoique adjuvant, que joue la fatigue dans son apparition. C'est un fait avéré que la marche, la course, toute fatigue musculaire en un mot, exagère les accidents. Eh bien, que l'on s'accoutume d'abord à faire des ascensions médiocres, que l'on fasse de l'exercice prolongé en montagne, et l'on retardera d'autant l'apparition des accidents dans les grandes ascensions. Pourquoi? Pour cette raison bien simple que par cette gymnastique spéciale, par cet entraînement méthodique, on arrive à ne contracter que les muscles indispensables pour les mouvements à accomplir, parce que l'on réduit à son minimum la dépense des forces et qu'ainsi la fatigue ne se manifeste plus.

A côté de la fatigue, il est certain que les temps orageux; les brouillards et surtout le froid aggravent les malaises. L'influence du froid peut expliquer pourquoi les ascensionnistes commencent à souffrir au niveau des neiges éternelles et, en

effet, lorsqu'on considère les différences de hauteur auxquelles apparaissent les troubles graves, suivant les parties du monde où on les observe, on voit qu'elles sont en rapport remarquable avec celles des hauteurs où se maintiennent les neiges perpétuelles. Nous comprenons comment les montagnes gigantesques qui avoisinent Quito sont si aisément gravies; c'est évidemment au voisinage de l'Équateur qu'elles doivent en partie l'immobilité relative dont ont joui ceux qui en ont fait l'ascension.

Pour avoir une idée exacte de la variété des accidents qui peuvent survenir dans le mal des montagnes, il faut en lire le récit imagé dans le remarquable travail de Paul Bert : *Sur la pression barométrique*. Nous nous contenterons de donner ici un court aperçu des symptômes que l'on ressent et qui portent à la fois sur toutes les grandes fonctions physiologiques.

Symptomatologie.

Les signes précurseurs consistent en un malaise général, une fatigue insolite en disproportion avec l'effort accompli. Des douleurs articulaires, localisées surtout aux membres inférieurs apparaissent. « On a un coup aux genoux », disent les guides de Chamonix. Si le malade s'assied, tout peut en rester là, mais en général il faut bien continuer l'ascension. Les symptômes s'affirment alors, et voici comment les grandes fonctions organiques sont influencées.

Circulation. — La modification la plus constante est l'augmentation du nombre des pulsations. Cette accélération du pouls apparaît parfois alors qu'aucun sentiment de malaise n'attire l'attention. Mais le plus souvent, dit de Saussure, elle est en rapport avec l'intensité du malaise éprouvé. Plus l'on s'élève et plus l'accélération du pouls est grande; il n'est pas rare de la voir atteindre 130, 140 pulsations.

La fréquence n'est pas seule modifiée dans le pouls. D'après Chauveau, le dicrotisme en est une particularité aux altitudes élevées.

La tension artérielle ne semble pas augmentée aux hautes

altitudes, comme semblaient vouloir l'affirmer au début les premiers expérimentateurs qui ont nom de Saussure, Humboldt. Les expériences de Mathieu de Fossey et Garsan en 1921, dans la cloche pneumatique de Saint-Cyr, ont prouvé qu'à une dépression rapide correspondait une augmentation de la tension, mais que pendant un séjour en atmosphère raréfiée la tension tendait à revenir à la normale.

Un autre trouble fréquent, c'est la palpitation. « Les battements du cœur deviennent parfois assez intenses pour faire craindre quelque danger. A chaque repos, mon cœur battait à être entendu, comme je m'appuyais sur mon bâton et son calme était le signal d'une nouvelle marche en avant. » (Tyndall).

Enfin, citons le plus grave, le plus terrible des troubles circulatoires : les hémorragies ; elles sont heureusement plus rares qu'on ne l'a souvent dit. En étudiant les observations publiées sur ce sujet, on est amené à les considérer non pas comme un symptôme du mal des montagnes, mais plutôt comme une des complications relevant d'un état pathologique antérieur : obstruction de la trompe d'Eustache déterminant, sous l'influence de la dépression atmosphérique, une rupture du tympan, suivie d'écoulement de sang par l'oreille. D'autres fois, c'est un pré-tuberculeux qui fait une hémoptysie d'autant plus facilement qu'il y est prédisposé. Nous ne nions pas cependant de parti pris la possibilité d'hémorragies spontanées chez des sujets normaux.

Sang. — Les modifications du sang, sous l'influence du séjour en haute montagne, ont suscité de très nombreuses recherches. En 1889, le professeur Viault, de Bordeaux, effectuait sur lui-même des numérations de globules dans les Andes, et il constatait que le sang des indigènes contient également dans cette région de 7 à 8 millions de globules par millimètre cube. La *théorie de l'hyperglobulie* était fondée et les travaux scientifiques s'accumulèrent.

Mosso écrit que « l'hyperglobulie est seulement périphérique et due à un appel des globules rouges dans les capillaires superficiels, par action plus intense de la lumière et de l'air froid ».

Et Guillemard et Moog ajoutent que « l'hyperglobulie primitive n'est qu'apparente, mais elle devient réelle dans la suite à partir du deuxième jour ».

L'étude de la formule chimique du sang montre une *diminution de l'oxygène et du CO_2* . La cause en a été trouvée par Galeotti et confirmée par Agazotti : diminution de l'alcalinité du sang due à la production plus grande d'acide lactique. Cette dernière découle elle-même de l'insuffisance d'oxygène entraînant des altérations dans les échanges de l'organisme.

Respiration. — Les troubles respiratoires constituent le symptôme le plus constant du mal des montagnes et celui dont les voyageurs ont le plus souvent à souffrir. Au commencement d'un séjour en montagne, il y a augmentation du nombre des inspirations : l'air inspiré étant pauvre en oxygène et les globules rouges de néoformation ne possédant pas encore la teneur habituelle en hémoglobine, il est nécessaire que le poumon soit ventilé plus activement. Lorsque l'hémoglobine nouvelle est apparue, cette ventilation supplémentaire cesse et les mouvements respiratoires reviennent à la normale.

D'autre part, la profondeur de l'inspiration ne change pas et l'amplitude a toujours tendance à diminuer. Mais la diminution d'intensité s'accuse surtout dans les changements de rythme : les mouvements respiratoires ont tendance à s'arrêter en fin de l'expiration et l'inspiration dure plus longtemps que l'expiration. Donc, « le type respiratoire en montagne devient à l'état de veille semblable à celui qui caractérise le sommeil dans la plaine ; il tend vers le type Cheynes-Stokes ».

Digestion. — La soif se rencontre toujours, et bien rares sont les ascensionnistes qu'elle n'a pas tourmentés. Les nausées se montrent également et les désordres digestifs peuvent aller jusqu'aux vomissements.

Ce sont ces phénomènes qui ont le plus anciennement frappé l'attention et c'est à eux que l'on doit la comparaison du mal des montagnes et du mal de mer, d'où le nom de « mareo », sous lequel il est connu dans quelques parties des Andes.

Pourtant, il semble qu'il n'y ait pas de variations dans les

sécrétions de sucs gastriques et intestinaux par l'effet de l'altitude; la fatigue seule cause leur diminution.

Excrétion. — On admet généralement une déshydratation de l'organisme, sous l'effet du climat de montagne. Mais un fait capital doit être noté, c'est la diminution notable de la quantité des urines au début du séjour en haute montagne. Lepileur déclare qu'au Mont Blanc « les urines sont rares et de couleur foncée chez tout le monde ». Il y a généralement oligurie par suite de la diminution de la perméabilité rénale. Puis, vers le troisième jour, survient une *crise urinaire* semblable à celle des maladies infectieuses, avec décharge de produits toxiques. Cette débâcle coïncide avec la sédation de tous les autres symptômes, la maladie entre dans sa période de déclin.

Nutrition. — Les expériences calorimétriques ont démontré que la quantité de chaleur dégagée par le corps augmentait alors que la température centrale restait sensiblement la même. Il paraît donc nécessaire que les combustions intraorganiques augmentent.

Système nerveux. — En même temps que les divers symptômes déjà énoncés apparaissent des troubles du côté des centres nerveux. D'abord ce sont de violents maux de tête « comme si la tête allait se fendre en deux » (Mrs Hervey). Puis viennent les vertiges, les défaillances, les pertes de connaissance. A côté de ces désordres nerveux d'ordre général, on signale des troubles des organes des sens, des bourdonnements d'oreilles, une diminution du goût, la rétine présente quelquefois une hyperesthésie amenant des éblouissements, ou au contraire une sorte de torpeur fonctionnelle accompagnée de cécité passagère.

Voici pour les organes des sens; mais les troubles nerveux du mal des montagnes sont aussi de nature psychique. Ils se traduisent par une dépression générale des forces morales et intellectuelles, l'indifférence, le découragement, la perte de mémoire. De Saussure avoue qu'il n'a pas travaillé avec un grand entrain au sommet du Mont Blanc. Lepileur raconte que ses compagnons et lui cheminaient machinalement, sans penser.

Tels sont les fâcheux phénomènes que produit l'influence des

hauts lieux. Mais si la gravité des accidents va croissant avec la hauteur, elle suit une marche ascendante, une loi de progression et non de proportion. Jusqu'à 3.000 mètres, par exemple, un voyageur ne sera averti de la diminution de la pression que par une légère accélération du pouls et de la respiration; de 3.000 à 4.000 mètres, les accidents augmentent considérablement d'intensité; au-dessus, chaque dénivellation de quelques centaines de mètres est marquée par leur aggravation progressivement croissante.

CHAPITRE II

Théories mécaniques.

S'il faut avouer que beaucoup d'expérimentateurs se firent les champions de théories diverses, il faut dire que peu d'entre elles sont retenues aujourd'hui comme présentant quelque intérêt scientifique.

Nous nous bornerons à les présenter simplement (en insistant toutefois sur quelques-unes plus importantes) et à indiquer les objections que l'on a soulevées contre chacune d'elles.

Depuis longtemps, certaines populations des Andes et des Indes attribuaient le mal de montagne à des exhalaisons pestilentiennes provenant soit du sol, soit des végétaux, hypothèses tirant évidemment leur origine de l'ignorance de ces populations.

Nous ne nous arrêterons pas à la théorie qui admet une accumulation de l'électricité au sommet des montagnes par suite de leur forme conique. « Quand les gens ne savent plus que dire, remarque justement Paul Bert, il y a grande chance pour les voir mettre en cause et invoquer l'électricité. »

Et nous rappellerons, simplement pour mémoire, que certains physiciens, trompés par des analyses inexactes, avaient cru que le mal de montagne était dû à la diminution de l'oxygène dans la composition de l'air des montagnes. Des analyses répétées ont montré que l'air des plus hauts sommets avait exactement la même composition centésimale que l'air des plaines : les hypothèses de Humboldt et de Boussingault ne sont donc plus soutenables.

La fatigue a été invoquée aussi comme cause unique du mal de montagne par Lepilleur et Dufour; seulement, pour le premier, la fatigue provient « de la congestion sanguine qui a lieu dans les muscles pendant leur action », tandis que, pour le second, elle résulte de l'épuisement des matériaux ternaires emmagasinés dans le sang. Nous ne nions pas que la fatigue joue un rôle adjuvant, mais il est vraiment excessif de venir affirmer que c'est la principale cause et même l'unique cause des accidents. Il suffit, pour réfuter cette théorie, de remarquer que jamais dans la plaine ou même sur des montagnes peu élevées des voyageurs qui marchent toute une journée, non sans fatigue sérieuse, n'ont ressenti les effets du mal de montagne.

Pour M. Lortet, la température propre de l'homme diminue quand il déploie l'énorme quantité de travail nécessaire pour élever à une grande hauteur le poids de son corps. Il appuie sa théorie sur l'abaissement de température qu'il a lui-même constaté dans ses ascensions au Mont Blanc. Malheureusement, la méthode qu'il employait (il plaçait le thermomètre dans la bouche) est sujette à de nombreuses erreurs et, comme l'ont montré MM. Forel et Mermod, les modifications de la température du corps par dépression sont tout à fait minimes.

Les théories que nous venons de présenter cherchent ailleurs que dans la pression barométrique la cause du mal des montagnes. Celles, au contraire, qui ne tiennent compte que de la *diminution de la pression barométrique* retiendront davantage notre attention.

L'une des plus anciennes théories et des plus couramment admises pendant longtemps suppose que, lorsque la pression diminue, rien ne vient plus contre-balancer la tension du sang dans l'intérieur de nos vaisseaux. Le corps est comme plongé dans une énorme ventouse. Cette théorie est contraire aux lois de la physique. Giraud Teulon l'a réfutée depuis longtemps en invoquant les deux principes suivants :

1° Toutes les pressions exercées par l'atmosphère ambiante sur le corps humain se combattent naturellement et se détruisent d'une manière parfaite.

2° L'effort exercé par le poids de l'atmosphère est, du reste, contre-balançé par l'incompressibilité des liquides dont tous nos organes sont imbibés et par la tension des gaz et des vapeurs dans les cavités et interstices splanchniques. La peau se trouve ainsi placée entre deux forces qui luttent en sens contraire et se font équilibre. Le fait de la ventouse qui attire le sang à l'extérieur n'est en aucune façon comparable à l'action de la dépression barométrique. C'est la pression sur le reste du corps qui pousse le sang dans les vaisseaux placés sous la ventouse. « Rien ne se passerait, nous dit Regnard (*Cure d'altitude*, Paris, 1897), si la ventouse enveloppait toute la surface de la peau, puisqu'il n'y aurait pas un seul point qui ne fût en équilibre de pression. »

Une autre théorie émise pour la première fois par Robert Boyle est celle qui croit au dégagement des gaz dissous dans le sang lorsque la pression diminue. La formation des bulles qui en résulte viendrait arrêter ou troubler la circulation. Soit, dirons-nous, ce dégagement gazeux serait possible si la diminution de pression était brusque, mais, au contraire, elle est graduelle chez les ascensionnistes. D'ailleurs, si cette théorie était vraie, les aviateurs, qui s'élèvent plus rapidement, devraient être malades à des altitudes plus basses que les ascensionnistes ; or, c'est le contraire qui se produit.

Maissiat, Lepieur et Colin ont émis l'idée que, sous l'influence de la diminution de pression, les gaz intestinaux se dilatent, refoulent le diaphragme et gênent la respiration : « Les physiiciens qui ont ainsi raisonné, nous dit Regnard (*loco citato*), l'ont fait comme si le tube digestif était une cavité close, mais il faut noter que ce tube a deux extrémités qui s'ouvrent sous la moindre poussée. »

L'on a prétendu que, par suite de la diminution de pression, il faut un plus grand effort musculaire pour retenir les surfaces articulaires au contact. Farabœuf, démontrant que la pression atmosphérique à elle seule est capable de soutenir un poids quatre fois plus considérable que celui du membre inférieur, a, par cela même, réfuté cette théorie. Il faudrait descendre

jusqu'au quart d'atmosphère pour voir s'annuler le soutien fourni par la pesanteur de l'air.

Il ne nous reste à exposer dans ce groupe que la seule théorie qui soit retenue aujourd'hui, théorie qui attribue le mal de montagne à des troubles circulatoires dépendant mécaniquement de la diminution de pression barométrique. Cette théorie a été d'abord défendue par Kronecker et il écrit en 1895 (*Revue scientifique*, janvier) : « Tous les symptômes concourent, à mon avis, pour montrer que le mal de montagne est dû à des troubles dans la circulation du sang. Les malades donnent l'impression de personnes atteintes d'affections cardiaques. Les profondes inspirations ne servent à rien. Le mal vient de ce que, par suite de la réduction de la pression de l'air, les vaisseaux pulmonaires gonflent, ce qui, produisant des stagnations dans les petits circuits, provoque une extension des cavités de droite du cœur. L'excitation de la peau peut produire la contraction des vaisseaux (d'où l'action favorable du vent frais pas trop froid); les efforts musculaires, au contraire, ajoutent encore à l'irritation anormale du cœur. Les veines distendues renferment tant de sang que la pression dans les artères tombe et que le cerveau ne reçoit plus suffisamment de sang (envie de dormir, faiblesse). Les stagnations dans la veine porte causent l'inappétence, les nausées, les vomissements même. Ces malaises ne peuvent être attribués au manque d'O², puisque l'augmentation d'amplitude des mouvements respiratoires n'y porte pas remède, puisque les symptômes ne s'aggravent pas à mesure que l'oxygène diminue. »

Si, pour Kronecker, la diminution de la pression atmosphérique amène le gonflement des vaisseaux pulmonaires et que de ce gonflement résultent la stagnation du sang au niveau des poumons et, par suite, une hypohémie artérielle d'où découlent tous les accidents des hautes altitudes, pour Germe, la cause du mal de montagne est l'anhémospasia (à, privatif, sang, j'attire), c'est-à-dire le défaut d'aspiration du sang par la poitrine. Nous savons que la circulation pulmonaire est favorisée par le vide partiel qui se produit dans le poumon au moment de l'inspira-

tion ; la valeur de ce vide partiel est en raison directe de l'amplitude des inspirations. Si les inspirations sont fortement gênées, il s'ensuit que l'anhémospasié est faible. Or, dans l'ascension des montagnes, trois causes contribuent à diminuer l'anhémospasié : la diminution de pression atmosphérique (la plus importante), l'effort ascensionnel, le froid.

Que va-t-il résulter de cette anhémospasié ? L'afflux sanguin dans le système intrathoracique est diminué. Le sang s'accumule dans le système veineux dont la tension augmente, tandis qu'au contraire, il y a hypohémie artérielle qui provoque, d'une part, l'anémie cérébrale, d'autre part, une insuffisance des matériaux respirateurs et une épuration incomplète des muscles. Germe n'admet pas l'influence de la diminution de tension de l'O², ce qui, pour Paul Bert (nous le verrons tout à l'heure), est la cause unique du mal de montagne. Pour lui, la pression barométrique agissant mécaniquement est tout avec ses deux facteurs adjuvants : l'effort et le froid.

Pour M. P. Héger, le mal de montagne est encore un effet mécanique de la dépression barométrique ; la raréfaction de l'air, lorsqu'elle atteint un certain degré, détermine de l'hypérémie pulmonaire et cette congestion pulmonaire constitue une surcharge pour le cœur droit. En juillet 1920, il a projeté devant les membres du Congrès de Physiologie des cœurs d'animaux vivant en montagne et montrant l'existence d'un développement anormal du cœur droit. De plus, si l'homme a besoin d'oxygène pour vivre, la respiration est la fonction qui lui sert cet aliment indispensable. L'air circulant à un certain débit entretient donc la fonction respiratoire ; jusqu'à quelle limite la circulation pourra-t-elle s'intensifier pour répondre à un appel fonctionnel de l'organisme ? M. Gley écrit : « Le débit respiratoire maximum, ou, en d'autres termes, le plus haut débit respiratoire instantané que peut assurer l'homme et qui paraît fixe, se maintient aux environs de 1 lit. 750 à la seconde. Ce débit maximum paraît être indépendant des dimensions de la cage thoracique, de la capacité pulmonaire et uniquement en rapport avec les besoins en O² de l'homme. »

Et il ajoute encore :

« Dès maintenant, il semble bien que la notion de débit respiratoire maximum constitue la véritable caractéristique fonctionnelle d'un appareil respiratoire. »

J.-L. Pech a attiré l'attention sur l'intérêt de la détermination du débit respiratoire maximum, et Piery, F. Michel et Bayeux ont établi qu'au cours de l'ascension les débits respiratoires diminuent avec l'altitude atteinte, plus l'altitude s'élève et plus le débit respiratoire maximum diminue.

Tous ces faits se comprennent mieux aujourd'hui grâce aux recherches de R. Bayeux touchant les données structurales des poumons sous l'influence des grandes décompressions barométriques. Il a mis en valeur une lésion capitale : hypertrophie des parois de l'alvéole. Cette hypertrophie porte sur les cellules nucléées de l'épithélium respiratoire et ne s'étend pas au delà du sphincter de la bronchiole acineuse.

Ces lésions sont disséminées sans ordre. Elles sont d'autant plus étendues que l'animal a été décomprimé plus longtemps et a subi une décompression plus forte.

Ces faits ont comme conséquence un rétrécissement, parfois même l'obstruction totale de la cavité alvéolaire d'une part, et un écrasement des vaisseaux capillaires péri-alvéolaires d'autre part, d'où une répercussion sur la petite circulation et sur le cœur droit.

Ainsi, dans l'esprit de l'auteur, la lésion essentielle primitive déterminée dans le poumon par la décompression barométrique consiste dans l'hypertrophie pariétale des alvéoles qui se complique d'un rétrécissement de la cavité alvéolaire et de l'écrasement des vaisseaux capillaires; tous les phénomènes cardio-vasculaires sont secondaires à cette lésion initiale.

CHAPITRE III

Anoxémie.

De Saussure et bien d'autres à sa suite avaient pensé que sur le Mont Blanc, l'air étant raréfié de plus de moitié, il n'entre guère en poids, à chaque inspiration, que la moitié de la quantité que l'on respire normalement, d'où diminution de l'hématose.

Mais cette théorie était battue en brèche par l'objection de Payerne qui disait : « Aux sommets les plus élevés, la quantité d'O² est encore plus que suffisante pour les besoins de notre organisme. »

Pravaz entrevit la véritable explication de la diminution de l'hématose. Jourdanet eut l'honneur de l'énoncer et Paul Bert la sanctionna par une série d'expériences remarquables.

L'anoxémie est due, non plus à ce que l'air inspiré, contenant moins d'O² en poids, devient insuffisant pour l'hématose, mais bien à ce que le défaut de pression rend la dissolution de l'O² dans le sang moins abondante. « La pression barométrique par elle-même n'agit pas; elle n'intervient que par ce fait qu'elle diminue la tension de l'oxygène. La pression barométrique ne fait rien, dit Paul Bert, la tension de l'O² est tout. »

Pour le prouver, Paul Bert montre d'abord, dans une série d'expériences, que les accidents de la décompression de l'air sont analogues à l'asphyxie en vase clos. Il prouve que les troubles observés à une certaine pression sont évités lorsqu'on emploie de l'air suroxygéné; au lieu de ne pouvoir aller au-dessous de 18 centimètres sans faire périr les oiseaux, on peut descendre à 14, 12, 8 et même 6 cent. 6.

Parmi ces expériences justement célèbres, voici en quoi consiste l'expérience cruciale de P. Bert, comme l'a appelée Regnard. On soumet un animal à la dépression jusqu'à ce qu'il tombe et semble sur le point de mourir. On laisse alors entrer de l'oxygène dans la cloche. L'animal se remet; si l'on exerce ensuite une nouvelle dépression, on remarque que l'animal supporte très bien des pressions auxquelles il était précédemment malade. Il ne tombe qu'à une pression plus basse.

Le fait de voir se relever un oiseau lorsqu'on introduit de l'oxygène dans la cloche ne prouve pas grand'chose en faveur de l'anoxémie, puisque la pression augmente en même temps que la tension de l'O². Il se pourrait que ce fût l'augmentation de tension de l'oxygène qui eût rétabli l'animal. *Mais ce qui est capital en faveur de la théorie de P. Bert, c'est de voir l'animal tomber à des pressions plus basses dans des atmosphères sur-oxygénées.* Germe l'a très bien compris, aussi prétend-il que ce fait dépend simplement de l'habitude et du plus ou moins de rapidité que l'on met dans le soutirage de l'air de la cloche.

Enfin, dans une autre série d'expériences, P. Bert remarque que la quantité d'O² contenue dans le sang artériel de divers animaux diminue avec la pression. Fort de ces résultats, P. Bert fit construire une cloche à vide de grande dimension et il y réalisa sur lui-même un mal de montagne expérimental qu'il pouvait atténuer instantanément par des inhalations d'O². Ces expériences, suffisamment concluantes, incitèrent Crocé-Spinelli et Sivel à risquer d'atteindre avec leur ballon *Zénith* des hauteurs jusqu'alors inaccessibles. Ils partirent accompagnés de Tissandier, ils emportèrent des ballons d'O². On connaît le dénouement fatal de cette entreprise aventureuse; seul Tissandier survécut, les deux autres aéronautes avaient trouvé la mort à une altitude de 8.600 mètres, sans avoir pu utiliser leur précieuse réserve d'oxygène.

Sans doute, les expériences de Paul Bert montraient le rôle prépondérant de l'anoxémie dans l'éclosion du mal de montagne, mais elles n'expliquaient pas pourquoi, dans les ascensions en ballon, on voyait les premiers symptômes apparaître plus

tardivement à une altitude bien plus élevée. Il fallait chercher une explication à ce phénomène et c'est Regnard qui a eu le mérite de la trouver. Sous une cloche, il met deux cobayes : l'un complètement libre, l'autre enfermé dans une roue de treillage qui peut être mise en mouvement par un petit moteur électrique. Quand la roue tourne, l'animal est forcé de courir et de monter sans cesse pour éviter de tomber en avant. En réglant la vitesse de rotation de la roue de façon que le cobaye élève son propre poids de 400 mètres à l'heure, on réalise approximativement les conditions de fatigue d'une ascension en montagne. « On commence alors à faire le vide sous la cloche pneumatique; tant que le manomètre n'indique pas une dépression correspondant à 3.000 mètres de hauteur, les deux animaux semblent également calmes. Mais à partir de ce moment, le cobaye de la roue s'essouffle; il paraît manifestement gêné. A 4.600 mètres, il roule sur le dos et ne remue plus les pattes. L'animal libre, au contraire, est parfaitement tranquille et ce n'est que vers 8.000 mètres qu'il s'agite, tombe sur le flanc, écume et semble près de mourir. A ce moment, on laisse entrer de l'air et les deux animaux reviennent à eux, mais tandis que le cobaye fatigué est encore malade le lendemain, l'autre se met à manger moins d'une demi-heure après l'expérience. »

Voilà donc placés dans les mêmes conditions barométriques deux sujets dont l'un reste absolument passif, tandis que l'autre fournit un effort musculaire considérable; si ce dernier est atteint des symptômes du mal de montagne bien plus tôt que l'autre, c'est, à n'en pas douter, dans la fatigue musculaire qu'il faut rechercher la cause de ce phénomène. Et Regnard conclut donc que « si le mal de montagne est une asphyxie, un des facteurs importants réside, pour les hauteurs de moins de 5.000 mètres, dans le travail musculaire qui consomme l'oxygène du sang ».

CHAPITRE IV

Acapnie.

Le professeur Mosso avait remarqué que si la diminution de pression rend le séjour dans la chambre pneumatique presque intolérable, l'introduction de quelques litres CO_2 amène un soulagement très marqué. D'après lui, l'acide carbonique stimule le cœur, fait contracter les vaisseaux sanguins, rend la respiration plus profonde et, consécutivement, produit une ventilation plus grande dans les poumons.

Mosso a cherché si par l'effet d'une rapide diminution de la pression barométrique la quantité d'anhydride carbonique émise par notre corps augmente d'une manière mesurable.

Il fit d'abord deux expériences dans une chambre pneumatique à Turin et il trouva que l'anhydride carbonique s'éliminait en plus grande quantité dans l'air raréfié.

Puis, après Paul Bert, il fit des expériences sur les gaz contenus dans le sang d'animaux portés à différentes pressions barométriques. D'après le résultat de vingt-trois expériences, grâce à un procédé ingénieux, à la rapidité avec laquelle il put conduire ses expériences et faire aussitôt ses analyses pour étudier les changements que subit le sang, il a pu écrire : « En prenant en même temps deux échantillons de la même artère et en analysant d'abord l'un, puis l'autre, on trouve toujours dans le premier échantillon plus d'oxygène et moins d'anhydride carbonique ; dans le second, moins d'oxygène et plus d'anhydride carbonique ». C'est donc que dans les dépressions barométriques le sang s'appauvrit en gaz carbonique ; ce

phénomène a reçu le nom d'*acapnie*. Or, d'après Mosso, c'est dans l'*acapnie* et non dans l'anoxémie qu'il faut rechercher le point de départ du mal de montagne.

Il résulte des expériences faites par Mosso sur des animaux, que les diverses espèces d'anoxémie sont identiques dans leurs effets. Aussi bien si la soustraction d'oxygène est produite par la raréfaction de l'air que si l'atmosphère est allongée et rendue pauvre en O^2 par l'adjonction d'un gaz indifférent comme l'hydrogène ou bien en faisant respirer de l'oxyde de carbone qui chasse l'oxygène des corpuscules sanguins. Les fonctions du système nerveux vont en se déprimant sans qu'il y ait une période d'excitation précédente ; dans l'hydrogène comme dans l'oxyde de carbone, on voit reproduits les phénomènes caractéristiques de la dépression barométrique.

Encouragé par ces résultats de laboratoire, Mosso se transporta au sommet du Mont Rose, résolu à tenter une série d'expériences sur les touristes qui viendraient pendant son séjour à la Capanna Margherita. Nous reproduisons l'une d'entre elles.

18 août 1903. — « Il arrive une société de quatre alpinistes et deux guides. Ils avaient mal dormi la nuit précédente dans la Capanna Gnifetti, où, à cause du mauvais temps, vingt-quatre personnes s'étaient réfugiées ; durant l'ascension, ils avaient été gênés par le brouillard et ils arrivaient très fatigués. Quand ils parvinrent à la Capanna Regina Margherita, l'un d'eux, G. F..., avait des nausées ; il était très abattu et très pâle ; n'ayant pas d'appétit il resta toute la journée au lit, se plaignant du mal de tête ; ce fut surtout la nuit qu'il fut tourmenté par les vomissements, au point qu'il dut se lever et que le gardien lui fit une tasse de café. Le jour suivant, à 7 heures du matin, ses collègues me prièrent de l'examiner ; il avait passé la nuit sans dormir et se plaignait d'une sensation douloureuse, comme d'un cercle autour du front. Il avait 117 pulsations par minute et 23 respirations ; il se trouvait dans un état de grande apathie et d'abattement.

» *Je lui fis respirer le mélange d'acide carbonique à 8 p. 100*

dans l'oxygène, et il me dit qu'il en éprouvait du soulagement. Peu après, je lui donnai l'autre cylindre avec l'oxygène comprimé; il avait immédiatement appris à manier le robinet et à régler le courant du gaz d'après la sonorité du sifflement et, assis sur son lit, il respirait en tenant l'entonnoir devant son nez et sa bouche. Après avoir respiré l'oxygène pendant une minute, il dit qu'il préférait l'autre cylindre, parce qu'il le soulageait davantage. Nous répétâmes alternativement l'expérience et toujours avec le même succès. Après s'être levé, il m'assura qu'il se sentait plus fort. Il consumma un troisième cylindre d'acide carbonique à 8 p. 100 et repartit avec ses compagnons.

» Je sus ensuite que s'étant arrêté à la Capanna Gnifetti dans de bonnes conditions, il voulut continuer pour Gréssoney. »

Cette observation confirme la loi que Bohr a formulée au sujet de l'influence que la tension de l'anhydride carbonique exerce sur l'absorption de l'oxygène dans le sang. Tandis qu'à la pression ordinaire, des doses même notables d'anhydride carbonique ont une faible influence sur l'absorption de l'oxygène, Bohr trouva que dans l'air raréfié, quand la tension de l'oxygène est faible, l'anhydride carbonique exerce, au contraire, une action intense sur l'absorption de l'oxygène dans le sang. Suivant cette loi, l'adjonction de CO_2 dans l'air respiré devient utile quand la pression partielle de l'oxygène est faible, car de cette manière s'utilisent des provisions de ce gaz dans le sang, lesquelles auparavant restaient inertes.

En somme, il résulterait des expériences de Mosso que la présence d'anhydride carbonique dans le sang est nécessaire pour la fixation et l'absorption de l'oxygène. Sous l'influence de la dépression barométrique, le taux du gaz carbonique s'abaissant, il s'ensuit une diminution de l'oxygène absorbé, une anoxémie consécutive à l'acapnie. On le voit, cette conception ne détruit nullement la théorie de P. Bert, elle la confirme plutôt en expliquant son mécanisme. Rien d'étonnant à ce que Mosso ait pu écrire : « Je n'ai jamais dit que l'acapnie suffisait à elle seule pour expliquer tous les phénomènes du mal de mon-

tagne ; mais la diminution de l'acide carbonique dans le sang lorsque la pression barométrique diminue étant certaine, j'ai affirmé que celle-ci devait exercer une action sur le système nerveux, lequel est très sensible aux moindres changements qui se produisent dans l'acide carbonique du sang. L'anoxémie produite par l'oxyde de carbone simplifie beaucoup l'analyse du mal de montagne, parce qu'elle nous permet d'éliminer les phénomènes physiques de la dépression barométrique et ceux qui sont dus à la diminution de l'acide carbonique dans le sang. » Et Haldane, qui le premier a étudié sur lui-même l'action de l'oxyde de carbone, constata lui aussi la ressemblance signalée par Mosso ; la céphalalgie, la dyspnée, l'accélération du pouls, les nausées et les vomissements, qui se retrouvent dans l'empoisonnement par l'oxyde de carbone, sont en même temps des symptômes caractéristiques du mal des montagnes.

CHAPITRE V

Théorie toxique de Moog et Guillemard.

Nombreux furent les travaux qui se firent en montagne pour étudier isolément certains éléments caractéristiques du climat de la haute montagne et aussi pour noter les variations que subissent les phénomènes de nutrition.

Veraguth, en 1877, étudiait déjà les variations de la quantité d'urine. Jaquet et Stæhelin, les variations de l'élimination azotée. D'autres observateurs cherchèrent à mesurer les combustions intraorganiques avec les échanges respiratoires.

Parmi les phénomènes qui jouent un rôle important dans la pathogénie du mal de montagne, MM. Guillemard et Moog ont surtout retenu l'oligurie d'une part, et, d'autre part, l'élimination très exagérée des matériaux azotés incomplètement brûlés.

Ils ont écrit notamment ceci : « L'oligurie du mal de montagne pouvait être attribuée soit à une exagération de la perte d'eau par les voies pulmonaire et cutanée, soit à une rétention d'eau par l'organisme. En raison surtout de la débâcle urinaire, qui coïncide, vers le quatrième jour, avec la diminution des symptômes morbides, nous inclinons à penser que l'oligurie était due à une rétention d'eau par diminution passagère de la perméabilité rénale, conséquence vraisemblable d'une vasoconstriction d'origine toxique. Mais, d'autre part, on admet, en général, que le climat de la montagne exagère la déshydratation de l'organisme grâce à la sécheresse de l'atmosphère, à sa faible pression et à l'augmentation de la ventilation pulmonaire. Ces

deux ordres de causes agissent dans le même sens pour restreindre l'élimination urinaire, mais elles sont loin de présenter, au point de vue pathogénique, le même intérêt; aussi avons-nous demandé à l'expérience de nous renseigner sur leur importance relative et recherché comment varie avec l'altitude la déshydratation de l'organisme par les voies pulmonaire et cutanée. »

L'arrêt partiel de la diurèse est indiqué par la diminution du volume de l'urine et la rétention des matériaux fixes. L'eau, normalement filtrée par le rein, pourrait être éliminée par une autre voie (poumons, peau).

Des trois éléments caractéristiques du climat de montagne (faible pression, sécheresse, basse température), l'action du froid est prédominante. Elle restreint l'élimination de vapeur d'eau et augmente les échanges respiratoires, malgré l'anoxémie. De plus, on n'expliquerait pas par cette élimination détournée la décharge urinaire qui suit la période d'oligurie.

On est conduit à admettre que le filtre rénal subit une diminution dans sa perméabilité.

Comme on ne peut incriminer dans le cas présent une imperméabilité par les lésions des glomérules ou des épithéliums, il faut admettre, soit que la tension vasculaire est abaissée, soit que les toxines formées sous l'influence de l'anoxémie ont produit un spasme des artérioles rénales.

D'autre part, la formation exagérée d'alcaloïdes et leur élimination en quantité considérable au moment de la crise, conduisent à admettre une vaso-constriction rénale d'origine toxique.

Les recherches poursuivies par MM. Guillemard et Moog les avaient amenés à conclure à une accumulation probable d'azote dans le sang au cours du mal des montagnes. L'analyse du sang à l'aide des nouvelles méthodes devait leur permettre de trancher la question.

Pendant une ascension pénible faite à l'Observatoire Vallot (4.395 m.), les observateurs ont été atteints du mal des montagnes en même temps, et ils ont présenté les symptômes

classiques, avec des nausées, une oligurie accentuée, des frissons, et aussi une asthénie marquée.

Et voici ce qu'écrit M. Guillemard (*C. R. Académie sciences*, 1925) :

« Les prises de sang ont été faites à Chamonix, aux Grands Mulets et à l'Observatoire Vallot. Le sang prélevé était désalbuminé sur place, suivant la méthode de Follin et Wu, au tungstate de soude et l'azote total du filtrat dosé au laboratoire par micro kjeldahl.

» De nouvelles observations ont été faites à Alger; au cours de l'hiver dernier, en variant les conditions (à jeun, après un repas, à la suite d'une forte marche). Les analyses ont donné les résultats suivants, exprimés en centigrammes d'azote non protéique par litre de sang.

» Pour le sujet H. G., les onze dosages effectués tant à Chamonix qu'à Alger ont donné des nombres compris entre 30,6 et 35,8, avec une moyenne de 32,4; la prise de sang faite aux Grands Mulets a donné 34,5; les quatre prises de sang faites à l'Observatoire Vallot ont donné : 47,1; 48,3; 50,3 et 49,6.

» Pour le sujet J. G., les cinq prises de sang ont donné les résultats suivants : à Alger, 29,7; aux Grands Mulets, 29,1; à l'Observatoire Vallot, 44,1; 47,2; 44,9.

» On peut conclure de ces données qu'une accumulation notable de substances azotées non protéiques dans le sang paraît bien coïncider, chez l'homme, avec la crise de mal des montagnes, ce qui confirme les résultats antérieurs. Au point de vue pathogénique, la fatigue musculaire se montre, à elle seule, incapable de déterminer ces accidents; il faut donc incriminer l'anoxémie, tout en considérant la fatigue comme un facteur possible d'aggravation. De nouvelles observations sont nécessaires pour fixer les conditions de ce phénomène et élucider le mécanisme par lequel la vie, dans l'air raréfié, détermine une auto-intoxication azotée. »

De plus, si nous rapprochons de l'existence de cette « azotémie des altitudes » l'ensemble des symptômes qui caractérisent le mal des montagnes : céphalée, anorexie, somnolence, nous

obtenons le tableau complet des phénomènes qui précèdent ou accompagnent l'attaque d'urémie.

Dans le mal de montagne, la débâcle urinaire coïncide avec la sédation de tous les symptômes, la maladie entre alors dans sa période de déclin. A ce moment, l'analyse montre que le résidu sec est revenu à la normale; il n'augmente pas parallèlement à la quantité des urines. Par contre, l'élimination des alcaloïdes passe par un maximum au moment de la crise urinaire pour revenir ensuite lentement à son taux habituel.

La cause déterminante du mal de montagne est donc bien, comme l'ont dit MM. Guillemard et Moog, une auto-intoxication due à un trouble prononcé et passager de la fonction rénale.

CHAPITRE VI

Synthèse.

Après avoir résumé les diverses théories émises sur la pathogénie du mal des montagnes, à quels facteurs, à notre tour, attribuons-nous les différents accidents observés par les ascensionnistes.

Tout d'abord, nous croyons à l'influence de la diminution de tension de l'oxygène, les expériences de P. Bert sont trop nettes pour qu'il soit possible de ne pas accepter cette opinion. De plus, P. Bert n'a-t-il pas nettement prouvé que la *proportion d'O² contenue dans le sang artériel* diminue avec la pression. Citons seulement les résultats qu'il a obtenus.

Moyennes des quantités d'O² pour 100 volumes de sang artériel :

Expériences 1 à 4 : Pression normale, 19,9; pression 56 cent., 16,5;

Expériences 5 à 8 : Pression normale, 19,7; pression 45 cent., 15,6;

Expériences 9 à 16 : Pression normale, 18; pression 34 cent., 10,8.

Cette moindre absorption d'O² par le sang lorsque la pression diminue a, il est vrai, été fort contestée, en particulier, par Frænckel et Geppert; ceux-ci n'ont opéré qu'*in vitro* et P. Bert, réfutant les opinions de Fernet, a déjà montré depuis longtemps que les choses ne se passaient pas de la même façon *in vivo*.

Mais P. Bert ne voit qu'un seul facteur à cette anoxémie : *la diminution de tension de l'O²*.

Au premier abord, la tension de l'O² paraît toujours assez forte pour que ce gaz puisse pénétrer dans le sang, même aux plus grandes hauteurs où l'on se soit élevé. En effet, la condition nécessaire pour que l'O² pénètre dans le plasma est que sa tension dans l'air soit supérieure à sa tension dans le sang veineux qui arrive aux poumons. Or, dans le sang veineux, la tension de l'O² est, en moyenne, de 2 cent. 9 d'atmosphère, autrement dit de 22 millimètres de Hg, et à 7.000 mètres, la plus grande hauteur atteinte en montagne, la tension de l'O² est de 64 millimètres. *Seulement, prenons bien garde, ce n'est pas là tension de l'O² dans l'air extérieur que nous devons considérer, mais celle* BEAUCOUP PLUS FAIBLE *de l'oxygène intraalvéolaire.* Ainsi, par exemple, au sommet du Mont Blanc, la pression de l'O² intraalvéolaire ne doit plus être, en moyenne, que de 63 millimètres, et à 7.000 mètres, elle tombe à 45 millimètres.

Malgré tout, nous le voyons, cette tension est encore plus que suffisante pour que l'oxygène passe de l'air dans le sang. Comment nous expliquons-nous donc que l'oxygène entre cependant en moins grande quantité. Pour le comprendre, il suffit de songer que l'oxygène met un certain temps pour se dissoudre dans le plasma sanguin, se combiner à l'hémoglobine ; or, plus la tension de l'O² intraalvéolaire sera forte, plus le gaz se dissoudra vite dans le sang. En d'autres termes, la quantité d'O² absorbée par le sang au niveau du poumon est facteur de la différence de tension entre l'O² alvéolaire et l'O² du sang veineux.

Payerne, dès 1851, dans sa note à l'Académie des sciences, faisait déjà aux partisans de l'anoxémie une objection, et il s'exprimait ainsi : « Sur les cimes les plus élevées auxquelles on soit parvenu, la pression égale au moins 32 centimètres de Hg. L'air y renferme environ 125 grammes d'O² par mètre cube, soit 100 grammes pour 800 l. qu'un homme respire par heure. Or, des expériences, dont on ne saurait suspecter l'exactitude, ont récemment démontré qu'un homme au repos convertit seulement 50 grammes d'O² en CO². En supposant qu'au travail il en

convertisse 5 et même 10 grammes de plus, il sera loin de lui en manquer dans un lieu où le baromètre accuse 32 centimètres. »

Sans doute, la quantité d'O² suffisante pour les combustions de l'organisme se trouve dans l'air respiré, *seulement sa tension est trop faible* pour qu'il entre assez rapidement et assez abondamment dans le sang et l'organisme souffre de cette diminution dans la quantité d'O² qui lui est fournie.

De plus, on connaît le rôle excitateur de l'anhydride carbonique sur le centre respiratoire; ce gaz, s'il augmente dans le sang, fait que la respiration s'accélère et devient profonde. Au contraire, s'il diminue, le rythme respiratoire se modifie. Ces inspirations deviennent superficielles, insuffisantes, et peuvent prendre le type Cheyne-Stokes. L'absorption de l'O² ne se fait plus normalement.

Sans reprendre les expériences de Mosso, pour montrer que, de même que dans le mal des montagnes, le sang ne peut plus fixer la quantité d'oxygène nécessaire aux combustions organiques, on voit aussi justement là les conditions de l'intoxication par l'oxyde de carbone. Dans ce dernier cas, l'asphyxie survient parce que le sang devient inapte à absorber l'oxygène du fait de la transformation de l'hémoglobine en un composé stable : l'hémoglobine oxy-carbonée, si bien que dans l'empoisonnement oxy-carboné, comme dans le mal des montagnes, l'asphyxie survient par anoxémie. Rien d'étonnant alors à ce que nous retrouvions dans les deux cas, comme l'a fait remarquer Mosso, une grande analogie de symptômes.

Pour nous, entre la théorie de P. Bert et celle de Mosso, l'antagonisme n'est pas irréductible; bien plus, il est inexistant. Sans doute, Mosso montre l'importance primordiale de l'acapnie, mais il trouve, par le fait même, le pourquoi de l'anoxémie.

Pourtant il semble qu'il y ait encore d'autres causes de la moindre absorption d'O² dans l'air raréfié.

Et d'abord *la quantité de sang qui passe dans les poumons.*

N'est-il pas évident que si le sang, par suite de sa stagnation dans le système veineux, passe en moins grande quantité dans le poumon, la proportion d'hémoglobine en présence de l'O² sera moins grande; or, l'on a démontré que pour une même

tension de l'O², de deux solutions celle-là absorbera une plus grande quantité de ce gaz dans le même temps qui est la plus riche en hémoglobine; autrement dit, plus il y a d'hémoglobine en présence de O² et plus vite se fait l'absorption. Si la quantité de sang qui passe dans le poumon est faible, peu considérable aussi sera la proportion d'hémoglobine et faible également sera la quantité d'O² absorbée dans l'unité de temps.

Quant à *la vitesse du sang au niveau du poumon*, elle exerce aussi, nous semble-t-il, une certaine influence. S'il y a accélération de la vitesse, l'oxygène n'aura pas le temps de se dissoudre dans le plasma, l'hémoglobine n'aura pas le temps de se transformer en oxyhémoglobine, d'autant plus que, par suite de la moindre tension de l'O² intrapulmonaire, celui-ci pénètre avec plus de lenteur.

Si, au contraire, la circulation est trop lente, le sang a bien le temps d'absorber l'oxygène au niveau du poumon, mais comme son renouvellement ne se fait pas assez vite, le but final pour l'organisme est le même : la quantité d'O² qui lui est fournie est insuffisante.

Donc, des troubles circulatoires qui amèneront une variation dans la quantité de sang qui passe dans les poumons ou qui modifieront sa vitesse, influenceront sur la quantité d'O² absorbée.

Nous pouvons maintenant représenter schématiquement, d'après une formule tirée de l'enseignement du professeur Pachon et rapportée dans la thèse de son élève Le Gorgeu, les facteurs dont dépend la quantité d'O² qui pénètre dans le sang dans l'unité de temps.

Appelons : Q. Cette quantité d'O².

T. Tension O² intraalvéolaire.

t. Tension O² dans le sang veineux.

q. Quantité de sang qui passe dans le poumon.

v. Vitesse du sang.

On peut établir la formule suivante :

$$Q = f ([T - t], q, v).$$

P. Bert ne considère que le premier facteur; pour lui, la
Larriq 3*

diminution de tension de l'O² dans l'air est tout et il ne tient aucun compte de l'état de la circulation. Et pourtant, nous dit Kronecker, « tous les symptômes concourent pour montrer que le mal des montagnes est dû à des troubles de la circulation. Les malades donnent l'impression de personnes atteintes d'affections cardiaques ».

Sans penser, comme Kronecker, que les troubles circulatoires interviennent seuls pour produire le mal des montagnes, nous sommes persuadé qu'ils ont une influence : tous les symptômes notés dans les récits des ascensionnistes montrent bien que les troubles circulatoires existent.

Les troubles circulatoires existent, mais comment les expliquer? P. Bert donne d'un seul coup l'explication de tous les symptômes du mal des montagnes; pour lui, la diminution de tension d'O² suffit pour produire tous les troubles, il n'entre d'ailleurs pas dans de grands détails. Nous sommes bien plus tenté de croire que les troubles circulatoires, liés d'ailleurs en cela aux troubles respiratoires, sont sous la dépendance de la diminution de pression.

Notre opinion est basée sur les récentes découvertes de M. R. Bayeux touchant les données structurales du poumon. Il y a dans cet organe une gêne très grande de la circulation sous l'effet de la dépression barométrique. Et on a pu écrire :

« La lésion dominante majeure est la lésion du poumon déclenchée par la décompression, lésion qui est plus ou moins compensée suivant l'état du cœur et qui déclenche des troubles respiratoires plus ou moins accentués, lésion qui s'accompagne de troubles plus ou moins profonds et qui déclenche ainsi une auto-intoxication plus ou moins accentuée. »

D'ailleurs, si la tension de l'O² était tout, comme le dit P. Bert, le rétablissement de la tension de ce gaz devrait faire disparaître tous les troubles de la décompression; or, Aron a déjà démontré que chez le lapin, l'on ne parvient pas à annihiler complètement la dyspnée de l'animal au moyen de l'O² si la décompression atteint un certain degré, parce que, ajoute-t-il, « la diminution de pression modifie la mécanique de la respiration et de la circulation ».

Peut-être la quantité d'O² absorbée au sommet des montagnes serait-elle suffisante s'il ne se produisait pas ces troubles circulatoires amenant une anémie artérielle et empêchant l'apport aux divers organes *des matériaux réparateurs*.

Ce n'est que grâce à l'arrivée du sang oxygéné dans la périphérie des cellules que se produisent les phénomènes d'oxydation qui concourent à détruire les produits alcaloïdiques.

Les expériences d'Aggazotti ont montré une diminution très nette de l'alcalinité du sang en montagne; ce phénomène a été attribué à la formation de produits incomplètement oxydés, et en particulier d'acides gras; il semble donc que l'action spécifique de l'anoxémie sur les combustions consiste surtout dans une modification qualitative (apparition de matériaux incomplètement oxydés, acides gras).

On peut maintenant se demander quel sera le retentissement sur l'économie de ce changement imprimé au processus d'oxydation.

L'*oligurie*, mise en évidence par MM. Guillemard et Moog, doit, à ce sujet, retenir l'attention.

Pour expliquer cet arrêt partiel de la diurèse, il faut admettre ou que l'eau normalement filtrée par le rein est éliminée par une autre voie (poumon, peau) ou que le rein subit une diminution de la perméabilité. Or, puisque l'expérience a montré que le climat de haute montagne n'augmente pas la déshydratation de l'organisme par les voies pulmonaire ou cutanée, il faut admettre que le *filtre rénal devient moins perméable*.

Comme on ne peut incriminer dans le cas présent une imperméabilité par lésion glomérulaire ou épithéliale, on est conduit à admettre, soit que la tension vasculaire est abaissée, soit que les matériaux toxiques formés sous l'influence de l'anoxémie ont produit un spasme des artérioles rénales. Or, plusieurs expérimentateurs ont montré que le séjour en haute montagne n'a pas d'influence sensible sur la pression sanguine. De plus, la formation d'alcaloïdes toxiques et leur élimination en quantité considérable au moment de la crise rend très vraisemblable une vaso-constriction d'origine toxique.

Tous ces faits rappellent ce que l'on observe au cours des fièvres infectieuses. On y voit, en effet, l'oligurie coïncider avec une exagération de l'excrétion des alcaloïdes qui passent ensuite par un maximum au moment de la crise.

Nous pensons avec MM. Guillemard et Moog qu'il faut tenir compte de ces faits dans la pathogénie du mal de montagne. De la rétention des matériaux organiques ou minéraux résulte une AUTO-INTOXICATION dont les effets entrent pour une bonne part dans la symptomatologie du mal de montagne.

Il n'y a donc rien de surprenant à ce que, en rapprochant certaines formes du mal de montagne du tableau clinique de l'URÉMIE, on retrouve dans les symptômes de l'un ou de l'autre une analogie frappante.

Au moment où la crise de la grande urémie va éclater, on voit brusquement le taux urinaire s'abaisser à 300 ou 400 grammes. L'analyse montre une notable diminution des éléments minéraux et de l'urée. Des œdèmes surviennent; indépendants des lois de la pesanteur, ils se localisent principalement aux joues, aux paupières, aux mains. Une céphalée intense et rebelle à l'action des médicaments torture le malade. Les grands accidents apparaissent alors; suivant les sujets, ils se localisent à l'appareil respiratoire, digestif ou nerveux, donnant à la maladie l'un de ses trois aspects cliniques: respiratoire, digestif ou cérébral. La dyspnée, le rythme de Chéyne Stokes caractérisent la forme respiratoire; les vomissements, la diarrhée, l'asthénie et le coma se retrouvent dans les deux autres.

Si la symptomatologie du mal de montagne peut varier et donner des types cliniques quelque peu différents, on conçoit qu'un certain nombre de facteurs étiologiques entrent en jeu pour manifester ces différentes formes.

C'est ainsi que la fatigue musculaire chez les sujets non entraînés à l'altitude, le froid intense, le défaut de perméabilité rénale, l'insuffisance cardiaque et, en général, toutes les causes susceptibles d'augmenter l'élaboration des toxines ou d'entraver leur élimination, hâteront l'apparition des symptômes et en augmenteront l'intensité.

CONCLUSIONS

I. — L'examen critique des diverses données de physiologie pathologique, invoquées pour expliquer le mal des montagnes, paraît démontrer que celui-ci ne saurait être rapporté à une cause univoque. Mais, au contraire, les divers facteurs invoqués (troubles mécaniques, anoxémie, acapnie...) doivent les uns et les autres entrer en ligne de compte, avec la possibilité de prédominance des uns ou des autres suivant les cas individuels.

II. — Si l'anoxémie est sans doute, de toute manière, à la base du mal des montagnes, cette anoxémie, à son tour, est d'une part, tenue sous la dépendance à la fois des troubles d'ordre mécanique (respiratoires, circulatoires) et d'ordre acapnique. D'autre part, les divers symptômes morbides qu'elle engendre (céphalée, essoufflement, asthénie...) sont commandés par les conséquences d'ordre toxique qu'elle a en définitive.

III. — *Troubles mécaniques, anoxémie, acapnie, toxémie* doivent être considérés comme associés et s'influçant réciproquement pour aboutir, avec des *variantes individuelles*, aux divers troubles observés dans le mal des montagnes.

VU : *Le Doyen,*

C. SIGALAS.

VU, BON A IMPRIMER :

Le Président,

V. PACHON.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Bordeaux, le 14 juin 1928.

Le Recteur de l'Académie,

F. DUMAS.

BIBLIOGRAPHIE

- BERT (P.). — Mal des montagnes. *Rev. sc.*, 1886.
— La pression barométrique, 1878.
- BINET. — Observations physiologiques sur le mal des montagnes.
Presse médicale, 1925-1926.
- GUILLEMARD et MOOG. — Influence des hautes altitudes sur la nutrition générale. *J. de phys. et de path. gén.*, juillet 1905 et 1906.
— Observations faites au Mont Blanc sur les variations du sang aux hautes altitudes. *J. phys. path. gén.*, 1907.
- GERME. — Recherches sur les lois de la circulation pulmonaire, suivies d'une étude sur le mal de montagne et de ballon.
Paris, Masson, 1895.
- KRÖNECKER. — Le mal de montagne. *Rev. sc.*, 26 janvier 1895.
- KÜSS. — *Journal phys. et path. gén.*, t. VII, 1905.
- LE GORGEU. — Thèse de Bordeaux, 1904.
- LORTET. — Ascension du Mont Blanc. *Revue des cours scient.*, 1866.
- MOSSO (A.). — Expériences sur le mal de montagne. *Archiv. ital. de biologie*, 1903-1904-1905-1906-1907-1908.
- RÉGNIER. — Thèse de Paris, 1911.
- REGNARD. — Les causes du mal de montagne. *Bull. Soc. biologie*, 1894.

